

Die Umweltauswirkungen des chemischen Recyclings von Kunststoffen

Zehn Kritikpunkte an vorliegenden Ökobilanzen

Dezember 2020



Die Umweltauswirkungen des chemischen Recyclings von Kunststoffen

Zehn Kritikpunkte an vorliegenden Ökobilanzen

Einleitung

Chemisches Recycling und die Verwertung von Kunststoffen beziehen sich oft auf Prozesse wie Vergasung und Pyrolyse, bei denen Polymere chemisch zu Monomeren abgebaut werden. Diese Monomere können zur Herstellung neuer Polymere und Kunststoffe verwendet werden, indem entweder das Original reproduziert oder neue Arten von Polymerprodukten entwickelt werden (Grigore, 2017). In den meisten Fällen wird Kunststoff jedoch einfach in Brennstoff umgewandelt und dann verbrannt, wodurch der Kohlenstoff in die Atmosphäre freigesetzt wird. Dies ist nach der EU-Abfallrahmenrichtlinie nicht als Recycling definiert.

In jüngster Zeit werden chemische Recyclingtechnologien als umweltfreundlich angepriesen, mit der Behauptung, dass sie dazu beitragen können, die Umwelt- und Klimaauswirkungen von Kunststoff zu reduzieren. Für wissenschaftlich fundierte politische Entscheidungen ist ein umfassendes und korrektes Verständnis der tatsächlichen Umweltauswirkungen dieser Technologien entscheidend.

Verlässliche Daten zu den Umweltauswirkungen des chemischen Recyclings sind jedoch schwer zu beschaffen, da das Konzept des chemischen Recyclings im industriellen Maßstab noch nicht ausgereift ist. Es gibt heute – auch nach 50 Jahren fortwährender Bemühungen – keine Anlagen für das Recycling von Alt-Kunststoffen zu neuen Kunststoffen im großen Maßstab. Dennoch werden Ökobilanzen, die von oder in Zusammenarbeit mit Unternehmen entwickelt wurden, dafür herangezogen, diese chemischen Recycling- und Verwertungstechnologien als nachhaltig zu deklarieren.

In dieser Studie werden die wichtigsten Ergebnisse einer Überprüfung der am häufigsten angeführten Ökobilanzen für chemisches Recycling und Verwertung vorgestellt. Diese Bilanzen weisen erhebliche Mängel und Schwächen in Bezug auf wissenschaftliche Genauigkeit, Datenqualität, Berechnungsmethoden und Interpretation der Ergebnisse auf.

Eine Ökobilanz ist ein Werkzeug, das dazu beitragen kann, mithilfe verschiedener Umweltwirkungskategorien vorteilhafte Technologien zu bestimmen. Die Ergebnisse von Ökobilanzstudien werden jedoch stark vom festgelegten Untersuchungsrahmen und den verwendeten Annahmen und Daten beeinflusst. Die bloße Änderung einer Variable kann zuweilen die gesamten Ergebnisse verzerren. Aus diesem Grund sind Ökobilanzstudien sehr anfällig für Fehlinterpretationen. Bisweilen werden sie herangezogen, um allgemeine Schlussfolgerungen zu ziehen, die auf Annahmen beruhen, die jedoch nur in einem sehr engen Kontext anwendbar oder sogar falsch sind.

Derzeit gibt es keine umfassenden und völlig unabhängigen Ökobilanzen zum chemischen Recycling, die ein vollständiges Verständnis der Umweltauswirkungen ermöglichen. Wenn die EU den Übergang zu einer kreislauforientierten und kohlenstofffreien Wirtschaft erfolgreich vollziehen will, sollte den Themen Vermeidung und Wiederverwendung Priorität eingeräumt werden. Folglich sollte die EU nur solche Recyclingtechnologien fördern, die ein erhebliches Potenzial haben oder haben können, so viel Material wie möglich zu recyceln und gleichzeitig die Umweltauswirkungen zu minimieren, statt auf Alternativen wie Pyrolyse und Vergasung zu setzen, die große Mengen an Energie benötigen.

Empfehlungen

- **Politische Entscheidungsträger*innen sollten Vorsicht walten lassen, wenn es darum geht, Ökobilanzen für chemisches Recycling als Entscheidungsgrundlage zu verwenden.** Insbesondere vergleichende Ökobilanzen, in denen chemische Recyclingtechnologien als ökologisch vorteilhafter als andere Optionen dargestellt werden, sollten niemals ohne ein vollständiges Verständnis der realen Datensätze, der geografischen und Systemgrenzen, der getroffenen Annahmen sowie der Berechnungsmethoden herangezogen werden, die möglicherweise großen Einfluss auf die Ergebnisse hatten. Aufmerksamkeit sollte auch den Methoden der Zuschreibung von „vermiedenen Emissionen“ und den Vergleichsoptionen zukommen, mit denen die Technologien verglichen werden.
- **Die Europäische Kommission sollte die Erstellung unabhängigerer, transparenterer und umfassenderer Bewertungen der Umwelt- und Klimaauswirkungen des chemischen Recyclings auf der Grundlage primärer Datenquellen fördern, bevor sie weitere gesetzliche Rahmenbedingungen entwickelt, die Anreize für diese Technologien schaffen.** Ein weiterer Fokus sollte auch auf den Toxizitäts- und Reinheitsgraden liegen, da bestehende Ökobilanzstudien toxische und schädliche Verunreinigungen und Emissionen, sowohl in den Outputs als auch in den Emissionen während der chemischen Recyclingprozesse, systematisch ausschließen oder nicht vollständig offenlegen. Diese Studien sollten sich an einer robusten Methodik zur Bewertung der Umwelt- und Klimaauswirkungen des chemischen Recyclings orientieren, die die realen Prozessausbeuten und alle Prozessschritte, einschließlich Aufreinigung und erneute Polymerisation, berücksichtigt.
- **Investitionen und EU-Mittel sollten nur Kunststoffrecyclingprozesse fördern, die einen geringeren CO₂-Fußabdruck aufweisen als die klassische Herstellung von Kunststoff aus primären Rohstoffen, wobei die tatsächlichen Prozessemissionen zu berücksichtigen sind.** Insbesondere die Anrechnung von „vermiedenen Emissionen“ aus alternativen Entsorgungsoptionen für Kunststoff mit dem Ziel, zu behaupten, dass chemisches Recycling einen negativen Netto-Kohlenstoff-Fußabdruck hat, sollte entschieden zurückgewiesen werden.

Um ein besseres Verständnis der Umweltauswirkungen des chemischen Recyclings als Grundlage politischer Entscheidungen oder Investitionen zu erlangen, müssen die Ergebnisse von Ökobilanzen im Zusammenhang mit grundsätzlichen Sachverhalten zu diesem Thema dargestellt werden:

- *Bislang sind keine Anlagen für das chemische Recycling von Kunststoff zu Kunststoff in großindustriellem Maßstab in Betrieb (Quicker, 2019).*
- *Chemisches Recycling ist sehr energieintensiv und benötigt in verschiedenen intrinsischen und angelagerten Prozessschritten extern zugeführte Energie, weshalb es nicht als nachhaltige Technologie gelten kann. Selbst wenn die Produkte/Nebenprodukte zur Energiegewinnung verbrannt werden, gibt es aktuell keine Technologie für das chemische Recycling, die eine positive Energienettobilanz aufweist (Rollinson und Oladejo, 2020). Es gibt auch keine Hinweise darauf, dass sich das in der absehbaren Zukunft verbessern wird.*
- *Aufgrund des hohen Energieverbrauchs wird chemisches Recycling im Vergleich zu „materialbezogenem Recycling“ allgemein als eine minderwertige Form des Recyclings angesehen (Ministerium für Infrastruktur und Wasserwirtschaft, Niederlande, 2017). Der Prozess ist zudem mit großen Materialverlusten verbunden (Patel et al., 2020).*
- *Die mittels Pyrolyse gewonnenen Endprodukte sind keine direkt verwendbaren recycelten Kunststoffe. Es sind weitere Schritte zur Veredlung und Verarbeitung erforderlich. Da das Pyrolyseöl mit primärem Naphtha verdünnt wird, um die Anforderungen des Crackverfahrens zu erfüllen, enthält das Endprodukt*

nachweislich nur einen sehr geringen Anteil an chemisch recyceltem Material (Eunomia und CHEM Trust, 2020).

- Trotz der Behauptung von Unternehmen, im Rahmen des chemischen Recyclings könnten verschiedene Arten von Mischkunststoffabfällen verarbeitet werden, sind relativ saubere und homogene Kunststoffabfälle erforderlich, um hohe Ausbeuten und nicht mit fossilen (Primär-)Brennstoffen erzeugte Endprodukte zu erreichen (Eunomia und CHEM Trust, 2020).

Umfang und Methodik der Untersuchung

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse basieren auf einer kritischen Auswertung bestehender und häufig zitierter Ökobilanzen zum chemischen Recycling. Die ausgewählten Ökobilanzen beziehen sich auf Pyrolyse, Gasifizierung und Solvolyse. Ökobilanzen für die Umwandlung von Kunststoff in Kraftstoff (plastic-to-fuel) wurden hier nicht einbezogen. Es sollen nur Ökobilanzen für chemische Recyclingprozesse untersucht werden, von denen behauptet wird, dass sie Kunststoff wieder in Kunststoff umwandeln. Allerdings waren ähnliche Probleme bei Studien zu beobachten, die sich auf die Umwandlung von Kunststoff in Kraftstoff beziehen, insbesondere hinsichtlich der mangelnden Datentransparenz, fragwürdigen Bilanzierungsmethoden für Treibhausgas-Emissionen und irreführenden Kommunikation der Ergebnisse an politische Entscheidungsträger*innen und die breite Öffentlichkeit.¹

Eine Liste der Studien, die in diese Überprüfung einbezogen wurden, findet sich unten²:

Liste der geprüften Ökobilanzstudien

Einschließlich der in diesem Text als Verweis zu den Studien verwendeten Abkürzungen

1. [BASF LCA] Sphera Solutions GmbH. 2020, *Evaluation of Pyrolysis with LCA – 3 case studies*
2. [CE Delft LCA] Broeren, M., Lindgreen, E.R., Bergsma, G. 2018, *Chemical Recycling Study. How great – and what will be – the opportunities for climate policy? CE-Delft*
3. [Keller LCA] Keller, F., Pin Lee, R., Meyer, B. 2020, *Life cycle assessment of global warming potential, resource depletion and acidification potential of fossil, renewable and secondary feedstock for olefin production in Germany, Journal of Cleaner Production, 250, 119484, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119484*
4. [Plastic Energy LCA] Quantis, 2020: *Life Cycle Assessment of plastic energy for the chemical recycling of mixed plastic waste. Prepared for Plastics Energy.*

Kritik an Ökobilanzen zum chemischen Recycling

1. **Vorgeblich negative Treibhausgasemissionen:** Die BASF-Studie zeigt, dass die Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Kunststoff (LDPE) durch Pyrolyse um ca. 77 Prozent höher sind als bei der Herstellung von Kunststoff mit Naphtha.³ Dennoch wird in der Zusammenfassung der Studienergebnisse behauptet, dass die Pyrolyse gegenüber der Herstellung von neuem Kunststoff Vorteile bietet und sogar negative Treibhausgasemissionen aufweist. Dies wird durch die Anrechnung von „vermiedenen Emissionen“ aus alternativen Kunststoffabfallbehandlungen – in diesem Fall aus der Verbrennung – erklärt (siehe Abbildung 1).

¹ Beispielsweise ergab eine solche Studie (Benavides et al., 2017), in der konventioneller Kraftstoff mit aus Kunststoffen gewonnener Kraftstoffen verglichen wurde, dass die Emissionen aus der Verbrennung des konventionellen Kraftstoffs einbezogen wurden, nicht aber die des aus Kunststoffen gewonnenen Kraftstoffs, was eindeutig eine Verzerrung darstellt (Rollinson und Tangri, 2020).

² Hier ist zu beachten, dass die CE Delft-Studie 2019 überarbeitet wurde und diese Überarbeitung nur auf Niederländisch verfügbar ist. <https://www.cedelft.eu/en/publications/2173/exploratory-study-on-chemical-recycling-update-2019>. Die Kritik an der Ökobilanz von Plastic Energy basiert auf der öffentlich verfügbaren Übersicht: <https://plasticenergy.com/wp-content/uploads/2020/10/Plastic-Energy-LCA-Executive-Summary.pdf>.

³ 3.348 gegenüber 1.894 CO₂-Äquivalente pro Einheitsmenge (Produktion von 1 Tonne hochreinem Kunststoffgranulat)

Diese Darstellung der Klimaauswirkungen ist irreführend, da die tatsächlichen Treibhausgasemissionen des Pyrolyse-Verfahrens nicht transparent dargestellt sind.

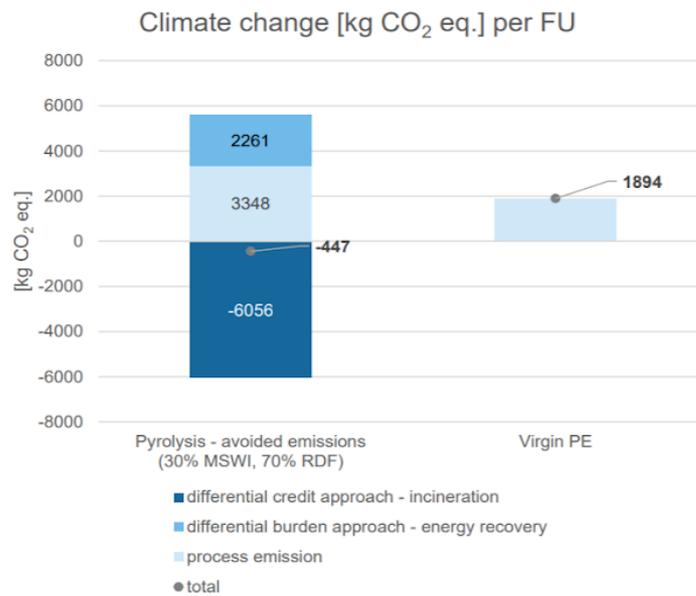


Abbildung 1 – Ökobilanz von BASF und die Berufung auf „vermiedene Emissionen“, um das Pyrolyse-Verfahren als klimaschonend darzustellen

Die Praxis, aus der Verbrennung entstehende Emissionen aus der Bilanz herauszurechnen und damit ein endlose Recyclingabfolge von Polymeren ohne Zersetzungseffekte zu unterstellen, findet sich in mehreren Studien wieder, darunter die Studien von BASF, CE Delft, Keller und Plastic Energy. Die Ökobilanz von Plastic Energy zeigt, dass die Treibhausgas-Emissionen bei der Herstellung von Kunststoff (LDPD) durch Pyrolyse höher sind als beim mechanischen Recycling, genau wie auch im Vergleich zur klassischen Herstellung von neuem Kunststoff. Dennoch werden die Klimaauswirkungen des Pyrolyseverfahrens einzig und allein aufgrund der vermiedenen Emissionen aus der Verbrennung als geringer dargestellt (Abbildung 2).

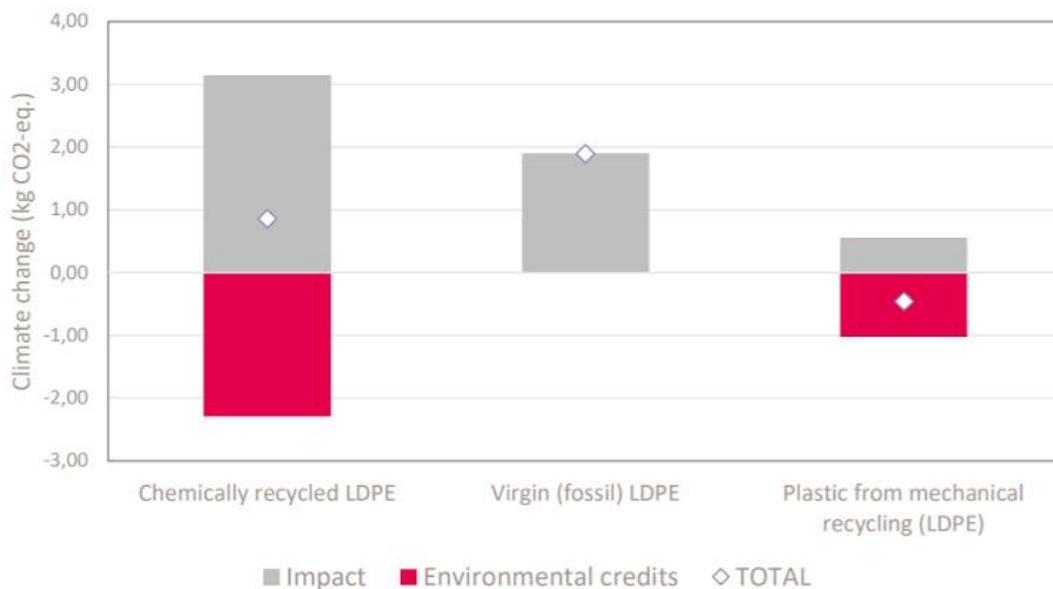


Abbildung 2 – Ökobilanz von Plastic Energy und die Berufung auf „vermiedene Emissionen“

Auch die Studie von Keller kommt zu dem Schluss, dass die Olefinproduktion mittels Vergasung ein etwa 7-mal höheres Treibhauspotenzial hat als die Produktion aus Rohöl.⁴ In den Endergebnissen der Studie heißt es jedoch immer noch, dass die Olefinproduktion mittels Vergasung von Kunststoffabfällen mit signifikanten Einsparungen von Treibhausgasemissionen verbunden ist. Die Vergasung wird auch hier durch die Anrechnung von „vermiedenen Emissionen“ aus der Verbrennung als vorteilhaft dargestellt. Diese selektive Darstellung der wichtigsten Erkenntnisse ist irreführend und verschleiert die tatsächlichen Klimaauswirkungen des chemischen Recyclings. Sie kann daher weder dazu herangezogen werden, Aussagen über das Klimaschutzpotenzial dieser Technologie zu treffen, noch als Entscheidungsgrundlage dienen.

- 2. Der Pyrolysevorgang benötigt vorgeblich wenig bis keine externe Energie:** Der Energieverbrauch des chemischen Recyclingprozesses ist im Allgemeinen der wichtigste Aspekt, den es in einer Ökobilanz zu berücksichtigen gilt, da er sowohl die ökologische als auch die wirtschaftliche Leistung maßgeblich beeinflusst (Eunomia, 2020). Insbesondere ist die Pyrolyse ein energieaufwendiger endothermer Prozess, der erhebliche Mengen an externer zugeführter Energie benötigt, um die Reaktortemperaturen zu erhöhen und die interne Temperatur stabil zu halten (Rollinson und Oladejo, 2019; Patel et al., 2020). Die Unternehmen behaupten, auch in der Ökobilanz von BASF, dass das bei der Pyrolyse des Kunststoffabfalls entstehende Gas fast die gesamte für den Prozess benötigte Energie abdecken kann. BASF behauptet öffentlich, dass weniger als 1 Prozent externe Energiezufuhr für Anfahrprozesse benötigt wird.⁵ Die Menge des im Prozess entstehenden Gases wird in der BASF-Studie jedoch nicht angegeben, ebenso wenig wie sein geschätzter Heizwert.⁶ Es besteht ein klarer Zielkonflikt zwischen der Nutzung der Pyrolyseprodukte und Nebenprodukte (Pyrolyseöl, Kohle und Gas) zur Herstellung neuer Produkte und ihrer energetischen Nutzung im Rahmen des Pyrolyseprozesses selbst. Wenn das Ziel darin besteht, die Ausbeute zu maximieren (eine zukünftig erhöhte Ausbeute ist ein weiterer angenommener Faktor in der Ökobilanz), dann wird nur sehr wenig Gas als Nebenprodukt für die Aufrechterhaltung des Prozesses übrig bleiben, was bedeutet, dass externe Energie zugeführt werden müsste.

Die regulatorische Analyse von Agilyx Tigarid Plant (Patel et al., 2020) zeigt, dass für jedes Kilogramm Kunststoff, das durch Pyrolyse verarbeitet wird, die Verbrennung von 1 m³ Erdgas erforderlich ist. Mangels vollständiger Bereitstellung von Energie- und Massenbilanzdaten kann die BASF-Studie die Behauptung nicht angemessen belegen, die Pyrolyseanlage könne ausreichend durch ihre eigenen Nebenprodukte betrieben werden und gleichzeitig ausreichend hohe Ausbeuten produzieren, um ihre Endprodukte mit Rohmaterial für die Herstellung von Neukunststoff konkurrenzfähig zu machen. Es soll hier auch angemerkt werden, dass die in Ökobilanzstudien dargestellten Emissionen aus der Energienutzung oft auf extrapolierten Daten basieren, häufig mit zahlreichen Annahmen.

Die CE Delft-Studie lässt auch offen, ob die Autor*innen die Energiekosten der Pyrolyse berücksichtigt haben, da dies nicht in der Methodik angegeben ist. Da in dem Bericht jedoch behauptet wird, dass die *hydrous pyrolysis technology* „keine direkten Emissionen verursacht“⁷, ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen Energiekosten nicht korrekt zugerechnet werden und dadurch die Umweltverträglichkeit der Technologie fälschlicherweise höher dargestellt wird. Ebenso vage bleibt die Keller-Studie hinsichtlich der Energiebilanz für das chemische Recycling und im Hinblick auf den Energiebedarf aller Nachbearbeitungssysteme, die großen Einfluss auf die

⁴ Wie in Abbildung 7 der Studie gezeigt, hat das chemische Recycling mit ca. 12,5 kg CO₂ Äqu./kg produziertes Olefin im Vergleich zu dem aus reinem Rohöl hergestellten (Wert = Treibhauspotenzial von 1,56 mit ca. 12,5 kg CO₂ Äqu./kg) ein etwa 7-mal höheres Treibhauspotenzial.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619343549>

⁵ Siehe Antwort auf Frage 5: https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling/FAQ_ChemCycling.html

⁶ Die Studie geht im konservativsten Szenario (basierend auf vertraulichen Daten) von einem Wirkungsgrad der Kohlenstoffumwandlung von 71 Prozent und in einem imaginären „Zukunftsszenario“, das technologische Verbesserungen unterstellt, von 87 % aus. Aus den in der Studie angegebenen Massenströmen und Nebenproduktverlusten ergäbe sich somit eine für die Energieversorgung verfügbare Gesamtgasmenge von maximal 19 Prozent.

⁷ Ökobilanz von CE Delft, S. 33

Treibhausgasemissionen haben würden. Wir fordern transparente Energiebilanzen als Nachweis und die vollständige Offenlegung des Energiebedarfs aller Prozessschritte.

- 3. Extrapolierte und nicht offengelegte Datensätze:** Keine der Studien legt die verwendeten Datensätze vollständig offen. Daher ist es nicht möglich, die Studien zur Überprüfung ihrer Ergebnisse zu reproduzieren, was ihre Glaubwürdigkeit untergräbt. Für die CE Delft-Studie stellen die Autor*innen selbst fest, dass sich viele Recyclingtechnologien noch in der Entwicklung befinden und noch nicht im industriellen Maßstab implementiert wurden, weshalb die Ergebnisse mit Unsicherheiten behaftet und nur indikativ zu beachten sind.⁸ In Bezug auf die Solvolyse bezieht sich die Studie auf Daten, die aus einer vertraulichen Quelle stammen. Bei der Erstellung der BASF-Studie erhielten nicht einmal die Gutachter*innen Zugriff auf die Originaldaten, um deren Qualität und Vollständigkeit zu bewerten. In dieser Studie wurden nur Daten eines einzigen Pyrolyseöl-Anbieters verwendet, der seinen Sitz in Spanien hat, obwohl sich die Studie auf Deutschland bezieht. Die Verbindung zwischen den Input-Rohstoffen und den erzeugten Produkten ist somit hypothetisch. Darüber hinaus basieren die Aufreinigungsschritte der mittels Pyrolyse erzeugten Endprodukte auf primären Labordaten, das heißt, die Ergebnisse wurden lediglich extrapoliert, um damit ein vollwertiges industrielles Szenario darzustellen. Diese Daten sind für die Beurteilung der Pyrolyse ungeeignet, da die entscheidenden technologischen Schwierigkeiten gerade in der Überführung der Verfahren vom Labor- zum semiindustriellen Maßstab liegen (Rollinson und Oladejo, 2020).

Die Ökobilanz von Keller bleibt ebenfalls hinsichtlich der Parameter und Annahmen vage, wie zum Beispiel in Bezug auf die Annahme, der Prozess würde durch den eingesetzten Rohstoff nicht beeinflusst. In der Realität sind Vergaser hochkomplex, mit mehreren miteinander verbundenen Parametern, und die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe hat den wichtigsten Einfluss auf die Produktqualität (Rollinson und Oladejo, 2019). Diese unglaubliche und unzureichend begründete Nutzung angenommener und vertraulicher Daten bietet keine solide Grundlage dafür, Behauptungen über die Umweltauswirkungen der Pyrolyse aufzustellen. Wenn die für die Entwicklung von Ökobilanzen herangezogenen Daten nicht öffentlich gemacht werden können, sollten das auch für ihre Ergebnisse gelten.

- 4. Verwendung von Zukunftsszenarien:** Obwohl kein aktuelles Szenario modelliert werden kann, da keine großindustriellen Pyrolyse-Anlagen vorhanden sind, basiert die BASF-Studie auf einer für Deutschland im Jahr 2030 angenommenen Situation der Abfallwirtschaft und Pyrolysetechnik sowie dem geschätzten nationalen Energiemix für das Jahr 2030.⁹ Die konkreten Annahmen für das Zukunftsszenario sowie deren Auswirkungen auf die Ergebnisse werden in der Studie nicht vollständig dargestellt. Das bedeutet, dass die Studienergebnisse weitgehend auf nicht überprüfbaren Annahmen basieren und nur dann gültig sind, wenn diese Annahmen in der Zukunft auch erfüllt werden.

In ähnlicher Weise geht die CE Delft-Studie von der großindustriellen Anwendbarkeit der Technologien aus, während gleichzeitig festgestellt wird, dass „einige chemische Technologien schon seit Jahrzehnten in der Entwicklung sind, [und] es unklar ist, inwieweit sie für die gegenwärtigen Kunststoffströme nutzbar sind“¹⁰. Es sei darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung von Zukunftsszenarien in Ökobilanzen für das chemische Recycling keine Situation berücksichtigt wurde, in der auch bessere Bedingungen für das mechanische Recycling und Abfallvermeidung bestehen (siehe Punkt 6). Dies wirkt sich insbesondere auf Studien aus, die das mechanische und das chemische Recycling vergleichen, und legt eine verzerrte Verwendung von Zukunftsszenarien nahe.

- 5. Verzerrte Annahmen zur alternativen Behandlung von Kunststoffabfällen:** Alle Studien gehen im Zuge ihres vergleichenden Ansatzes davon aus, dass das chemische Recycling die Verbrennung oder energetische Verwertung von Kunststoffabfällen ersetzen wird. Dies mag in einigen Teilen Deutschlands und anderswo bei Kunststoffabfällen

⁸ Ausführliche Zusammenfassung, S. 4 <https://www.cedelft.eu/en/publications/2173/exploratory-study-on-chemical-recycling-update-2019>

⁹ Ökobilanz von BASF S. 20

¹⁰ Ökobilanz von Delft S. 6

gängige Praxis sein, ist aber nicht überall der Fall. Viele Länder – sogar innerhalb der EU – verfügen nicht einmal über Verbrennungsanlagen oder haben nur geringe Kapazitäten, und die Agenda zur Kreislaufwirtschaft hält sie davon ab, in größere Anlagen zu investieren. In diesen Regionen landen Kunststoffabfälle in der Regel auf Deponien, wo Kohlenstoff gebunden wird. Es gibt auch Unternehmen, die minderwertige Kunststoffabfälle durch Extrusion verarbeiten, was im Rahmen dieses Dokuments dem mechanischen Recycling gleichgestellt werden kann. Darüber hinaus haben die jüngsten politischen Entwicklungen¹¹ an der Schnittstelle der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz dazu geführt, dass Kunststoffe in geringerem Maße verbrannt werden, da dies die Ambitionen der EU und der Mitgliedsstaaten zur Dekarbonisierung entgegenstehen würde.

In der EU-Plastikstrategie wird die Verbrennung als ein großer Emittent von Treibhausgasen benannt. Jüngst kündigten Länder wie Dänemark und Belgien öffentlich an, ihre Abhängigkeit von Verbrennungsanlagen für Kunststoffabfälle im Sinne ihrer Dekarbonisierungsagenda zu verringern.¹² Diese Maßnahmen verbessern die Bedingungen für Abfallvermeidung und das mechanische Recycling, vor allem angesichts der Ziele der Einweg-Plastik-Richtlinie (SUP) zur Förderung von Pfandrückgabesystemen, Verbesserung der Qualität gesammelter Kunststoffe und vor allem des schrittweisen Ausstiegs aus schwer zu recycelnden Kunststoffen. Die Menge der recycelten Kunststoffverpackungsabfälle hat sich seit 2006 fast verdoppelt (Plastics Europe, 2019). Die Annahme, dass ein konstanter Anteil an Kunststoffabfällen aus getrennter Sammlung und von Sortierplattformen zur Verfügung steht, der als Ausgangsstoff für das „chemische Recycling“ oder alternativ zur Verbrennung verwendet werden könnte, ist daher eine wenig fundierte Annahme der Studien, die nicht mit der EU-Agenda für die Kreislaufwirtschaft im Einklang steht.

6. Verzerrte Darstellung des mechanischen Recyclings: Das mechanische Recycling benötigt weniger Energie als chemisches Recycling (Levidow und Raman, 2019). Trotz der Behauptung, dass chemisches Recycling nicht in Konkurrenz zu den Abfallströmen mechanischen Recyclings stehen wird, wurden in verschiedenen Ökobilanzen, darunter der von BASF (Vergleich des chemischen mit dem mechanischen Recycling von PE, PP und PS) sowie Plastic Energy (Vergleich des chemischen mit dem mechanischen Recycling von LDPE), die Klimaauswirkungen beider Prozesse verglichen. In der BASF-Studie wurde das chemische Recycling mit dem mechanischen Recycling verglichen, obwohl die betrachtete Abfallfraktion für das mechanische Recycling nicht ideal war und eine Sortierung erforderte, bei der die aussortierten Plastikabfälle verbrannt werden.¹³ Bei der Präsentation der Ergebnisse der Studie ist es wichtig, diese Tatsache hervorzuheben, da 90 Prozent der Emissionen aus dem mechanischen Recycling dieser Abfallverbrennung zugerechnet wurden – eine Zahl, die bei einem für das mechanische Recycling geeigneteren Abfallstrom wesentlich geringer gewesen wäre. Darüber hinaus ging man in der Modellierung davon aus, dass Nebenprodukte aus dem Pyrolyseverfahren in Zementöfen behandelt werden, um Braunkohle zu ersetzen, während Reststoffe aus dem mechanischen Recyclingprozess verbrannt werden. Tatsächlich ist es in Europa ein gängiges Verfahren, Rückstände aus dem mechanischen Recycling auch in Zementöfen zu behandeln. Diese unterschiedliche Annahme beim Vergleich der beiden Verfahren hinsichtlich der Behandlung von Nebenprodukten wirkt sich ebenfalls auf die Endergebnisse aus.

7. Unvollständige Sensitivitätsanalyse: In der Studie von CE Delft werden zwar verschiedenste Technologien bewertet, doch wurden die Ergebnisse in keiner Form statistisch ausgewertet und enthalten auch keinerlei Angaben von Wertebereichen. Einige der Ergebnisse stellen stattdessen ein absolutes Best-Case-Ergebnis dar, das nur „die Technologie, die in Bezug auf die Umwelt am besten abschneidet“, veranschaulicht.¹⁴ Es ist daher unmöglich zu sagen, ob die anderen chemischen Recyclingtechnologien mit der Verbrennung vergleichbar, schlechter oder weitaus schlechter waren. In der BASF-Studie wurden zwar verschiedene Variablen angepasst, um

¹¹ Einschließlich der Sustainable Finance-Taxonomie der EU und dem Fonds für einen gerechten Übergang (Just Transition Fund).

¹² <https://translate.google.de/translate?sl=da&tl=en&u=https%3A%2F%2Fmfvm.dk%2Fnyheder%2Fnyheder%2Fnyheder%2Fregningen-vil-have-co2-regningen-for-afald-ned%2F>

¹³ Ökobilanz von BASF S. 95

¹⁴ Ökobilanz von CE Delft S. 29

zu prüfen, wie sich diese auf die Emissionsergebnisse auswirken könnten. Allerdings wurden dabei Schlüsselvariablen des Pyrolyseprozesses selbst, wie der Energiebedarf, außer Acht gelassen. Da die Pyrolyse ein sehr energieintensiver Prozess ist, haben die benötigte Energiemenge und ihre Quelle einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtemissionen und die Klimaauswirkungen. Auch die Variabilität der Qualität des eingesetzten Abfalls wurde nicht berücksichtigt, obwohl die Studie sich auf eine Abfallfraktion aus einer der modernsten Sortieranlagen Europas bezieht. Generell sollte sich die Sensitivitätsanalyse nicht nur auf eine Wirkungskategorie konzentrieren.

- 8. Selektive Darstellung der Ergebnisse:** Im Vergleich zur Pyrolyse schnitt die Verbrennung in 10 von 19 Wirkungskategorien der BASF-Ökobilanz besser ab (z. B. Versauerung oder Eutrophierung). Die Pyrolyse schnitt nur in drei Wirkungskategorien besser ab als die Verbrennung. Die Studie konzentriert sich jedoch hauptsächlich auf eine dieser drei Wirkungskategorien: den Klimawandel. Bei der Vorstellung der Ergebnisse wird sogar pauschal behauptet, dass „chemisch recycelte Kunststoffe deutlich weniger CO₂-Emissionen verursachen als solche, die aus primären fossilen Ressourcen hergestellt werden“¹⁵, obwohl dies nur im Vergleich zur Verbrennung festgestellt, nur ein Kunststofftyp (LDPE) innerhalb von Deutschland untersucht wurde und eine Reihe anderer Annahmen aufgestellt werden. Die Keller-Studie kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Vergasung zu höheren Emissionen aller Luft-Parameter (CO₂, CO, Staub, NO_x, SO₂) führt und ein höheres Versauerungspotenzial im Vergleich zur primären Rohöl-/Schiefergas-Olefinproduktion hatte. Keines dieser Ergebnisse findet sich in der Zusammenfassung wieder, deren Fokus auf einer positiven Darstellung der Vergasung in der Kategorie Klimaauswirkungen im Vergleich mit der Verbrennung liegt.

- 9. Unbekannte Reinheits- und Toxizitätswerte von Endprodukten und Prozessen:** Toxizitätsindikatoren werden in Ökobilanzen und Umweltverträglichkeitsstudien des chemischen Recyclings häufig ausgelassen, obwohl diese Wirkungskategorie bei der Bewertung einer neuen Technik, von der bekannt ist, dass sie stark verschmutzte Abfallströme erzeugt, von großer Bedeutung sein sollte. Zum Beispiel wird die Vergasung von Kunststoffen mit der Produktion von Phthalaten, BPA, polybromierten Diphenylethern, toxischen bromierten Verbindungen und PAKs in Verbindung gebracht. Viele davon sind mutagen, krebserregend und schädigen die Atemwege oder das neurologische System (Verma et al., 2016). Es ist auch bekannt, dass bei der Pyrolyse toxische organische Nebenprodukte entstehen, und die Emissionsfaktoren von mutagenen PAKs aus Polyethylen bei Temperaturen über 700 °C deutlich ansteigen (Rollinson und Oladejo, 2020). Die Studie von CE Delft klammert alle Umweltauswirkungen außer dem Klimawandel aus, behauptet jedoch, ihr Ziel sei es, ein Verständnis der Umweltverträglichkeit chemischer Recyclingtechnologien zu vermitteln, um „politische Entscheidungsträger*innen bei ihren Entscheidungen zu unterstützen“¹⁶. In ähnlicher Weise konzentriert sich die Studie von Plastic Energy nur auf Klima- und Ressourcenverbrauchsindikatoren. In der von BASF in Auftrag gegebenen Studie wird angemerkt, dass die Ergebnisse zur Toxizität mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind. Darüber hinaus bleiben die Materialzusammensetzung, die Toxizität und der Verbleib der Abfallströme für mehrere Prozesse unklar, einschließlich Pyrolyse, Aufreinigung und Steamcracking. Daher liegen keine verlässlichen Daten zu Auswirkungen chemischer Recyclingprozesse auf Human- und Ökotoxizität vor.

- 10. Behauptete Neumaterialqualität der Endprodukte:** Die Studie von BASF legt nahe, dass der Pyrolyseprozess letztendlich zu Kunststoffprodukten mit einer mit Neuware vergleichbaren Qualität führen kann. Auch die Studie von CE Delft suggeriert, dass durch chemisches Recycling produzierte Produkte verkauft werden können und von ausreichender Qualität sind, um die konventionelle Kunststoffproduktion zu ersetzen. Zahlreiche Studien sind jedoch zu dem Ergebnis gekommen, dass Pyrolyseöl aus Kunststoffabfällen eine sehr hohe Konzentration an toxischen Schadstoffen aufweist (Rollinson und Oladejo, 2020). Daher kann derzeit nur ein sehr geringer Anteil des Pyrolyseöls in bestehende Crackverfahren eingespeist werden (Eunomia und CHEM Trust, 2020). Für dieses

¹⁵<https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling/lca-for-chemcycling.html>

¹⁶ Ökobilanz von CE Delft S. 44

Problem gibt es zwei mögliche Lösungen. Die eine besteht darin, das Pyrolyseöl zu aufzureinigen und zu veredeln, bis es den Anforderungen für das Crackverfahren entspricht. Dieser Prozess ist jedoch energie- und kohlenstoffintensiv und führt zu einer geringen Ausbeute (Seidl et al., 2020; Mamani-Soliz et al., 2020). Die andere Möglichkeit besteht darin, eine kleine Menge Pyrolyseöl mit einer viel größeren Menge an primärem fossilem Rohstoff zu verdünnen. Dadurch wird die Gesamtbelastung ausreichend reduziert, um eine Produktion zu ermöglichen. Allerdings bedeutet dies auch, dass der Anteil an recyceltem Inhalt im neuen Kunststoff so gering ist, dass man kaum noch von Recycling sprechen kann. Es ist auch möglich, dass ein gleichwertiges Crackverfahren, das nur Pyrolyseöl verwendet, technisch vollkommen unmöglich ist. Wenn ein gewisser Anteil an Naphtha für den Prozess notwendig ist, müssen auch die Umweltauswirkungen dieses fossilen Materials in die Ökobilanz einbezogen werden. Außerdem ist noch unklar, ob die Emissionsdaten, der Energiebedarf und die Qualitätsanforderungen des eingesetzten Pyrolyseöls auch noch für einen hohen Anteil an Pyrolyseöl im Cracker-Input gültig sind.

Fazit und Empfehlungen

Die Ergebnisse von Ökobilanzstudien können sehr leicht falsch interpretiert werden. Diese Review hat zehn Wege aufgezeigt, wie mittels bestehender Ökobilanzen für chemisches Recycling auf Grundlage nicht offengelegter Datensätze, fehlerhafter Annahmen und erfinderischer Bilanzierungsmethoden irreführende Informationen über die Klima- und Umweltauswirkungen dieser Technologien verbreitet werden.

Es zeigte sich, dass Unternehmen dazu neigen, die Hauptergebnisse von Ökobilanzen zu präsentieren, ohne den vollständigen Kontext dazu zu liefern. Ökobilanzen werden oft innerhalb eines engen geografischen Rahmens durchgeführt, wobei nur der Energiemix des entsprechenden Landes und eine bestimmte Abfallfraktion betrachtet werden. Des Weiteren basieren sie auf Annahmen, die bei Verwendung anderer Variablen zu ganz anderen Ergebnissen geführt hätten. Dennoch werden die Ergebnisse ohne vollständige Offenlegung der Bedingungen breit kommuniziert, wodurch die Illusion entsteht, dass aus der Studie entscheidende Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Wenn die Daten, die zur Erarbeitung von Ökobilanzen verwendet wurden, nicht öffentlich kommuniziert werden können, sollte für ihre Ergebnisse dasselbe gelten.

Daher sollten Ökobilanzen für chemisches Recycling nicht für die öffentliche Kommunikation oder als Grundlage für Entscheidungen oder Investitionen verwendet werden, sondern eher als ein Instrument zur Unterstützung breiter angelegter Diskussionen.¹⁷ Angesichts der problematischen Ergebnisse dieser Untersuchung **empfehlen wir politischen Entscheidungsträger*innen dringend**, bei der Interpretation von Umwelt- und Klimaauswirkungen des chemischen Recyclings auf der Grundlage von Ökobilanzen **Vorsicht walten zu lassen**.

Schließlich fordern wir die Erstellung unabhängiger, transparenter und umfassender Bewertungen der Umwelt- und Klimaauswirkungen des chemischen Recyclings auf der Grundlage von Primärdatenquellen, bevor weitere gesetzliche Rahmenbedingungen zur Förderung dieser Technologien entwickelt werden.¹⁸

¹⁷ Eunomia: Can Life Cycle Assessments (LCAs) Rise to the Challenge? <https://www.breakfreefromplastic.org/2020/09/30/can-life-cycle-assessments-rise-to-the-challenge/>

¹⁸ Dies stünde im Einklang mit der EU-Chemiestrategie für Nachhaltigkeit, die „Technologien wie das chemische Recycling [...] nur dann in Betracht zieht, wenn sie eine insgesamt positive Umwelt- und Klimabilanz unter Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten gewährleisten“.

Literatur

A.T. Benavides, P. Sun, J. Han, J.B. Dunn, M. Wang. Life-cycle analysis of fuels from post-use non-recycled plastics. *Fuel*, 203 (2017), pp. 11-22

[BASF LCA] Sphera Solutions GmbH. 2020, Evaluation of Pyrolysis with LCA – 3 case studies

[CE Delft LCA] Broeren, M., Lindgreen, E.R., Bergsma, G. 2018, Chemical Recycling Study. How great – and what will be – the opportunities for climate policy?

Eunomia, 2020. Plastics: Can Life Cycle Assessment Rise to the Challenge? How to critically assess LCA for policy making

Eunomia and CHEM Trust, 2020. Chemical Recycling: State of Play [to be published]

Grigore, M., 2017, Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers, *Recycling*, vol. 2, no. 4, p. 24

[Keller LCA] Keller, F., Pin Lee, R., Meyer, B. 2020, Life cycle assessment of global warming potential, resource depletion and acidification potential of fossil, renewable and secondary feedstock for olefin production in Germany, *Journal of Cleaner Production*, 250, 119484, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119484

Levidow, L., Raman, S. 2019. Metamorphosing waste as a resource: Scaling waste management by ecomodernist terms. *Geoforum*, 98, pp. 108-122

Lombardi, L., Carnevale, E., Corti, A. 2015. A review of technologies and performances of thermal treatment for energy recover from waste. *Waste Management*, 37, pp. 26-44

Ministry of Infrastructure and Water Management, the Netherlands, 2017. National Waste Management Plan 2017- 2029, The Hague: Ministry of Infrastructure and Water Management. NRK Recycling, 2018. Pilot plant for EPS solvolysis. [Online] Available at: <http://www.nrkrecycling.nl/nieuws/nieuws-detail?newsitemid=1102249993> [Geopend 2018].

Patel, D., Moon, D., Tangri, N., Wilson, M. 2020. All Talk and No Recycling: An Investigation of the U.S. “Chemical Recycling” Industry. Global Alliance for Incinerator Alternatives. DOI: 10.46556/WMSM7198.

PlasticsEurope, 2019. The Circular Economy for Plastics - A European Overview. Available here: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/1899-circular-economy-plastics-european-overview>

[Plastic Energy LCA] Quantis, 2020: Life Cycle Assessment of plastic energy for the chemical recycling of mixed plastic waste. Summary available here: <https://plasticenergy.com/wp-content/uploads/2020/10/Plastic-Energy-LCA-Executive-Summary.pdf>

Quicker, P. 2019. Evaluation of recent developments regarding alternative thermal waste treatment with a focus on depolymerisation processes. In: Thomé-Kozmiensky and Thiel, S. (Eds): *Waste Management*, 9, Waste-to-Energy. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, pp. 361-370.

Rollinson, A.N. 2018. Fire, explosion and chemical toxicity hazards of gasification energy from waste. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, pp.273-280.

Rollinson and Tangri. 2020. Update and rebuttal of Benavides et al. (2017) Life-cycle analysis of fuels from post-use non-recycled plastics, *Fuel*, 285, 118995, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118995.

Rollinson, A.N., Oladejo, J.M. 2019. 'Patented blunderings', efficiency awareness, and self-sustainability claims in the pyrolysis energy from waste sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, pp. 233-242.

Rollinson, A.N., Oladejo, J.M. 2020. Chemical Recycling: Status, sustainability and environmental impacts. *Global Alliance for Incinerator Alternatives*. DOI: 10.46556/ONLS4535

Verma, R., Vinoda, K.S., Papireddy, M., Gowda, A.N.S. 2016. Toxic pollutants from plastic waste - a review. *Procedia Environmental Sciences*, 35, pp. 701-708

Autor*innen: Shanar Tabrizi, Andrew Neil Rollinson, Marieke Hoffmann, Enzo Favoino

Redaktion: Ana Oliveira

Überarbeitung: Janek Vahk, Neil Tangri, Tad Kirakowski, Jean-Luc Wietor, Elise Vitali, Fanny Rateu

Übersetzung aus dem Englischen: Cornelia Gritzner und Sebastian Landsberger (lingua•trans•fair), Marieke Hoffmann, Sascha Roth



Zero Waste Europe ist ein europäisches Netzwerk aus Gemeinden, lokalen Führungskräften, Unternehmen, Expert*innen und Change Agents, die auf die gleiche Vision hinarbeiten: den Abfall in unserer Gesellschaft zu reduzieren. Wir unterstützen Gemeinden dabei, einen neuen Ansatz zum Umgang mit Ressourcen zu entwickeln, intelligentere Lebensstile und nachhaltige Konsummuster anzunehmen und im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zu handeln.



Das EEB ist Europas größtes Netzwerk von Umwelt-Bürgerinitiativen mit über 160 Mitgliedern in mehr als 35 Ländern (alle EU-Mitgliedstaaten sowie einige Beitritts- und Nachbarländer), darunter eine wachsende Zahl europäischer Netzwerke, und vertritt rund 30 Millionen Einzelmitglieder und Unterstützer*innen.



Die Deutsche Umwelthilfe (DUH) setzt sich seit mehr als 40 Jahren für den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen ein. Dabei verbindet sie wie keine andere Organisation in Deutschland den Schutz der Umwelt mit dem Verbraucherschutz.



ECOS ist eine Umwelt-NGO mit einem Netzwerk von Mitgliedern und Expert*innen, die sich für ökologisch ehrgeizige technische Standards, Richtlinien und Gesetze einsetzen. Wir stellen sicher, dass das Thema Umweltschutz bei der Entwicklung solcher Standards, Richtlinien und Gesetze berücksichtigt wird, und fordern politische Entscheidungsträger*innen und Akteure der Industrie auf, in ihren Projekten strenge ökologische Prinzipien zur Anwendung zu bringen.

Die Umweltauswirkungen des chemischen Recyclings von Kunststoffen
Zehn offene Fragen zu vorliegenden Ökobilanzen

zerowasteurope.eu



GAIA ist eine weltweite Allianz von mehr als 800 Basisgruppen und Nichtregierungsorganisationen sowie Einzelpersonen aus mehr als 90 Ländern. Unsere Arbeit ist auf einen globalen Wandel hin zu mehr Umweltgerechtigkeit ausgerichtet. Dafür unterstützen wir soziale Basisbewegungen, die Lösungen für Abfall und Verschmutzung vorantreiben. Wir setzen uns für eine gerechte Welt ohne Giftstoffe und Abfallverbrennung ein, in der ökologische Grenzen respektiert und die Rechte von Gemeinschaften geachtet werden und in der Menschen ohne Gifte und Verschmutzung leben und Ressourcen nachhaltig bewirtschaftet und nicht verbrannt oder verklappt werden.



Rethink Plastic, die Teil der Bewegung „Break Free From Plastic“ ist, ist eine Allianz führender europäischer NGOs, die sich für eine ehrgeizige EU-Politik zum Thema Plastik einsetzen. Sie vereint das Center for International Environmental Law (CIEL), ClientEarth, die Environmental Investigation Agency (EIA), das Europäische Umweltbüro (EEB), die Organisation zur Interessenvertretung europäischer Umweltschutzverbände in Normungsfragen ECOS (European Environmental Citizens Organisation for Standardisation), Greenpeace, Seas At Risk, Surfrider Foundation Europe und Zero Waste Europe. Zusammen repräsentieren sie Tausende von aktiven Gruppen, Unterstützer*innen und Bürger*innen in jedem EU-Mitgliedstaat, die sich für eine Zukunft ohne Plastikverschmutzung einsetzen.



Der 1899 gegründete NABU (Naturschutzbund Deutschland e. V.) ist einer der ältesten und größten Umweltverbände in Deutschland. Der Verband umfasst mehr als 770.000 Mitglieder und Förderer, die sich für den Erhalt bedrohter Lebensräume, Flora und Fauna, für den Klimaschutz und die Energiepolitik einsetzen. Die Hauptziele des NABU sind der Erhalt von Lebensräumen und der Biodiversität, die Förderung der Nachhaltigkeit in der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft sowie die Stärkung der Bedeutung des Naturschutzes in unserer Gesellschaft.



Zero Waste Europe bedankt sich für die finanzielle Unterstützung durch die Europäische Union. Für den Inhalt dieses Materials ist ausschließlich Zero Waste Europe verantwortlich. Die darin vertretenen Standpunkte spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des oben genannten Geldgebers wider und der Geldgeber haftet nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen.